

Conducción Asistida por Dron con Soporte HW para la Visión

Víctor Vicente Sánchez

Ingeniería Informática
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid



Proyecto Sistemas Informáticos

Madrid, 1 de Septiembre de 2017

Director: Alberto Del Barrio y Guillermo Botella

AGRADECIMIENTOS

No hay una persona a la que pueda agradecer tanto y tantas cosas como a mi padre, Ángel. Gracias por darme la posibilidad de haber cursado esta Ingeniería y haber llegado a presentar este proyecto. Eres un claro ejemplo de lucha, talento y motivación. Todo un referente para mí, gracias por seguir enseñándome a soldar mi propio futuro.

A mi madre, María, por apoyarme en todo momento, cuidarme, adoctrinarme y ser todo un ejemplo a seguir, soy como soy gracias a ti.

Ángel, Daniel y Hakima, sois mis motores, lo más grande que tengo, mis hermanos.

A mis amigos, por animarme a no tirar nunca la toalla. Y en especial a Checho, un genio, un fuera de serie, siempre al pie del cañón. Y a Beto, por estar siempre cuando más lo necesito. Gracias por toda la ayuda aportada.

A mi gran amigo Héctor, por participar en la construcción de una de las estructuras que un día pondremos en el aire.

Y por supuesto, mis agradecimientos a Alberto y Guillermo por asesorarme en un proyecto tan interesante y divertido.

Durante los últimos años se han realizado grandes avances en el campo de la tecnología y la informática. Empresas punteras de todo el mundo están invirtiendo cada vez más recursos en desarrollar la robótica y la inteligencia artificial. Inspirarnos en esta línea de trabajo, que cada vez es adoptada con más frecuencia por importantes compañías tecnológicas, nos motiva a idear y desarrollar un proyecto de esta envergadura.

Cada vez parece más clara la posibilidad de hacer realidad todo lo que la ciencia ficción lleva años desarrollando en novelas, películas y comics. La oportunidad de descubrir un universo lleno de misterios es cada vez más inminente y la potencia que hemos desarrollado con la tecnología nos abre todo un mundo de posibilidades.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, proponemos un primer paso con este proyecto para, en un futuro cercano, poder desarrollar sistemas autónomos que tengan la capacidad de interactuar en cualquier medio y situación, contribuyendo a que logremos alcanzar todos los objetivos que tenemos por delante. En este proyecto se plantea la posibilidad de automatizar una tarea de rastreo de un objeto con un dron, que se complemente con la optimización de un recorrido que ejecutará un vehículo terrestre.

Todo ello automatizado y sin necesidad de interacción humana, lo que nos sitúa en una posición más cómoda, permitiéndonos centrarnos en otro tipo de actividades como podría ser la investigación, dejando este tipo de tareas en manos de potentes herramientas que nos faciliten lograr diferentes objetivos.

In the past years we have achieved a great development in the fields of technology and computing. Leading companies of all over the world are constantly increasing their investments in robotics and I.A. developing. Inspired by this line of work, that it's being assumed for more companies each day, has drive us to design and develop a project of this magnitude.

Nowadays the possibility of making true all the science fiction technologies that we have seen in books, films and comics seems to be within our grasp. The chance of discovering a new universe full of mysteries is getting closer and the power that we have developed through technology opens a new world full of possibilities.

Taking the above into account we propose, as a first step, this project, in order to develop a self-managed system with the capability of interacting with any habitat or situation, helping us to achieve the goals that we have ahead. In this work we propose the possibility of automating the task of tracking a target with a drone which enhance the route by being complemented with a land vehicle.

All of this process automation without human labour is going to place us in a comfortable position, allowing us to focus in other kind of activities such as investigation, leaving these tasks in the hands of powerful tools that enable us to achieve different goals.

Lista de palabras clave

- Dron
- HUARGO
- ARCHER
- Arduino
- Zigbee
- Automatización
- Bluetooth
- Pixy CAM
- Sensor
- Motor sin escobillas
- Control PID

Keywords list

- Drone
- HUARGO
- ARCHER
- Arduino
- Zigbee
- Automation
- Bluetooth
- Pixy CAM
- Sensor
- Brushless motor
- PID Control

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
Lista de palabras clave	7
Keywords list.....	7
1 – Introducción	9
Introduction	11
2 – Motivaciones y Objetivos.....	13
3 – Estado del arte	16
4 – Especificación	22
4.1 – Análisis de requisitos	22
4.1.1 – Requisitos funcionales.....	23
4.1.2 – Requisitos no funcionales.....	25
4.2 – Especificaciones del sistema	25
4.2.1 – Especificaciones ARCHER.....	26
4.2.1.1 – Hardware	26
4.2.1.2 – Software	34
4.2.2 – Especificaciones HUARGO	35
4.2.2.1 – Hardware	35
4.2.2.2 – Software	40
4.3 – Planificación y estimación de costes.....	41
5 – Desarrollo del proyecto	43
5.1 – Diseño.....	44
5.1.1 – Diagramas.....	46
5.2 – Interconexiones	50
5.3 – Implementación.....	52
5.3.1 – Implementación ARCHER.....	52
5.3.2 – Implementación HUARGO.....	55
6 – Resultados y discusión crítica	57
7 – Conclusiones y trabajo futuro	59
Conclusions	61
Referencias	63
Figuras	65

1 – Introducción

El concepto de conducción asistida está muy presente estos últimos años, después de que las grandes empresas tecnológicas hayan decidido apostar por este campo, así vemos como Tesla, una de las empresas más punteras del Siglo XXI, después de asombrar al mundo con sus coches eléctricos, no para de mejorar el sistema de conducción asistida, que promete ser uno de los mejores que hay en el mercado ahora mismo. En la figura 1.1 vemos un coche del fabricante Tesla, simulando el rango de control que tienen sus diferentes sensores.



Figura 1.1 – Conducción asistida, Tesla

Aún en este momento tan puntero, no es una tarea fácil la de desarrollar este tipo de sistemas, pues estamos empezando a optimizar nuestro espacio para que este tipo de avances sean posibles. Encontrándonos con un montón de impedimentos importantes, así como convenciendo a la sociedad actual de que todos estos avances llegan para facilitarnos la vida y hacerla más segura y cómoda, ya que, la posibilidad de mejorar los trayectos, hacerlos más seguros y evitar infortunios, es uno de los argumentos clave para vender este tipo de herramientas.

Para poder desarrollar una automatización completa, es importante un arduo estudio de todo aquello que nos rodea, y más importante el saber cómo nosotros nos enfrenamos a todos estos problemas. Es así como desarrollamos algoritmos inteligentes, como mejoramos la inteligencia artificial para incorporarla en estos artefactos, que acaban siendo una pieza importante en todas nuestras labores. Y es que para un proyecto de esta envergadura es importante fijarse en todos estos aspectos, desde la construcción física y los materiales necesarios para llevarlo a cabo, donde debe regir una regla calidad/precio que pueda hacer posible su montaje, como la posibilidad de contar con todos aquellos sensores que nos den un reconocimiento del entorno lo más exacto posible. Así como la capacidad de procesamiento suficiente para poder llevar a cabo la tarea de estudio de todos los datos recabados y elaborar, en base a estos, algoritmos de decisión, que dependiendo del lugar y el momento se basarán en el conocimiento aprendido durante otras labores o incluso tendrán que ser capaces de improvisar.

Este proyecto, pretende ser la base para el desarrollo de un sistema autónomo, que se distribuya en diferentes elementos, con los que pueda cumplir cualquier objetivo. Y es que la idea de poder tener un sistema capaz de manejarse el mismo, de saber que elementos y utensilios necesita para poder llevar a cabo cada tarea, nos abre un mundo de posibilidades, en el cuál podremos mejorar cada acción de una forma segura y efectiva.

Contando con múltiples elementos, como en este caso, un vehículo terrestre y uno aéreo, y basándonos en un enclave principal, un gestor que vaya recabando toda la información y sea capaz de decidir que partes de su sistema requiere, podemos automatizar una tarea de reconocimiento, de salvamento o incluso de transporte.

Este proyecto surge con la iniciativa de mejorar algunos procesos que se llevan a cabo hoy en día, sobre todo en el ámbito de la investigación, salvamento y transporte, que pueden suponer un riesgo para las personas que se dedican a ello, asegurando ante todo el bienestar y reduciendo en lo posible las bajas humanas.

Introduction

Assisted driving as a concept has gained importance in the last years, after the big technological companies have decided to set their bets on this field. As an example, Tesla, one of the leading companies in the 21st century, has not only amazed the world with its electrical cars, but continues to improve its assisted driving system, which is expected to be one of the best ones on the actual market. In Figure 1.1 we can see a car by Tesla manufacturer, simulating its various sensors' control range.



Figure 1.1 – Assisted Driving, Tesla

Even in the leading times that we are living, it is not an easy job to develop these type of systems, as we are starting to optimise our space to make progress possible. On the way, we encounter obstacles such as convincing society that all this progress will make our lives easier, safer and more comfortable, given that the possibility of improving journeys, making them safer and avoiding accidents is one of the key arguments to sell this kind of tools.

In order to develop a complete automatization, it is imperative to have a thorough insight on what surrounds us, and, more importantly, to know how we deal with all these problems. This is how we develop intelligent algorithms and how we improve artificial

intelligence to incorporate it into these artefacts, that end up being a key piece to our duties. It is important for a project of this magnitude to take all these aspects into account, from physically building the model and the materials needed to do so, where a quality/price compromise that allows its assembly should rule, as well as the possibility of having all those sensors that will give us an insight of the environment as accurate as possible; as well as having the sufficient processing capacity to be able to study the collected data and to develop decision algorithms based on it, that, depending on the time and place, will be based on the acquired knowledge from other tasks or will even have to have the ability to improvise.

The aim of this project is to form the basis for the development of an autonomous system that can be distributed amongst various elements with which it can meet any objective. We must acknowledge the fact that the idea of having a system capable of handling itself and of knowing what elements and tools it needs to carry out each task opens a world of possibilities in which we will be able to improve each action in a safe and effective manner.

With the use of multiple elements, in this case a land vehicle and an aerial vehicle, and based on a main entity, a manager who collects all the information and who can decide which are the required parts of the system, we will be able to automatize a recognition task, a rescue task or even a transport task. This project emerges with the initiative of improving some processes that are carried out these days, especially in the field of research, rescue and transport, that may pose a risk for the people who work with them, ensuring above all the welfare and reducing human casualties as much as possible.

2 – Motivaciones y Objetivos

Estamos en un momento de auge tecnológico, de tal magnitud, que poco nos sorprenden los avances que están llegando, y es que hoy en día nos hemos acostumbrado a poder delegar múltiples tareas cotidianas a máquinas y artefactos que nos hacen más fácil el día a día.

Este auge tecnológico nos ayuda a poder centrarnos en lo realmente importante y a minimizar los riesgos que suponen algunas tareas. Cuando antiguamente suponía todo un reto el viajar a un país lejano, en barco, donde tras meses de travesía muchos de los tripulantes podían fallecer o sufrir graves enfermedades, hoy vemos como en cuestión de horas podemos estar en cualquier parte del mundo con la invención de las aeronaves.

Una parte negativa de toda esta evolución, es la adaptación que se ha tomado en algunos aspectos, sobre todo en materia militar, cuando antes podían perderse millones de vidas solo en el despliegue de todo el ejército, hoy vemos como las grandes potencias, desde su propio país son capaces de dirigir un ataque y aniquilar a multitud de personas con tan solo manejar un dron.

Esto nos hace ver la capacidad de creación y destrucción que podemos llegar a obtener gracias al avance de la tecnología, y lo mejor de todo, que aún nos quedan por explotar un montón de vías, con las que poder mejorar y obtener un gran beneficio de todos estos avances.

Por ejemplo, en materia de salvamento, no es raro ver como multitud de personas alrededor del mundo sacrifican sus vidas para ayudar a otras que se encuentran en medio de conflictos políticos, bomberos que arriesgan sus vidas por salvar a personas en situaciones que muchos otros ni se plantearían, o equipos de salvamento marítimo que no dan abasto en ciertas ocasiones o pierden su vida por poner a salvo a los demás.

Así como en materia de investigación, gracias a todos estos avances, somos capaces de acceder de forma remota a lugares que el ser humano era incapaz de llegar hace años, lugares que nos ayudan a conocer mejor el mundo en el que vivimos y poder así predecir catástrofes o cambios en el planeta.

Viendo un poco más allá, podemos pensar en las facilidades que pueden suponer estos avances de cara a descubrir otros planetas, de recabar información e incluso de llegar

a colonizar otros lugares que puedan cumplir con las condiciones idóneas para albergar vida, y todo esto sin sufrir nosotros daño alguno. Y es que, llegados a este punto, mantenemos lo más importante intacto, ya que podemos hacer todas estas tareas y descubrimientos de manera autónoma y centrarnos en el estudio y aprendizaje.

En este caso, nos centraremos en poder desarrollar dos estructuras capaces de poder actuar por si solas.

Para empezar a desarrollar este sistema, se han elegido un vehículo terrestre y un vehículo aéreo, dada la buena conexión que pueden tener estos dos vehículos, gracias al potencial que cada uno tiene por separado.

El vehículo terrestre, puede ser capaz de desplazarse por una gran parte del planeta, dependiendo de sus características, incluso es capaz de poder transportar altas toneladas a larga distancia, pues gran parte de nuestro entorno es fácilmente accesible mediante un vehículo terrestre. Aunque hay muchos factores que influyen en una buena ejecución de un recorrido, ya de por si es una herramienta que, de poder ser gestionada para ejecutar una tarea de manera autónoma, puede facilitar muchas tareas.

Por otro lado, contamos con un vehículo aéreo, un dron, donde obtenemos la posibilidad de controlar el espacio aéreo y tener un punto de vista amplio y completo de una región. Lo que nos puede permitir estudiar problemas que nos encontraremos en un futuro cercano. Así como contar con una mayor información que puede permitir al sistema variar de táctica o tomar decisiones mucho más acertadas, dado el conocimiento amplio que va teniendo en cada momento, gracias a su gran campo de visión.

Al juntar estas dos piezas, se nos abren una cantidad de vías de estudio y desarrollo impresionantes, pues nos encontramos con dos herramientas muy potentes por separado, pero que en conjunto conforman un sistema mucho más seguro, eficiente y robusto. Es aquí donde se ve claramente el comportamiento que un sistema de estas características debe tener. El objetivo de un proyecto así, se trata de empezar a construir un sistema que no solo es potente en sí mismo, si no que gracias a las diferentes piezas con las que puede contar, se vuelve realmente potente.

La base de conocimiento que puede llegar a obtenerse de la ejecución de tareas mediante estos vehículos, nos facilitará en un futuro su mejora y expansión, pues habrá momentos en los que incluso estos vehículos vean la necesidad de tener que contar con

otras piezas clave para diferentes tareas. O incluso el propio estudio de las diferentes ejecuciones pueden hacerlo mejorar.

3 – Estado del arte

La automatización es un concepto que está presente en casi toda la historia, pues incluso las antiguas esculturas que escupían fuego en la antigua Grecia o la escultura de Memon de Etiopía, capaz de emitir sonidos cuando los rayos del sol la iluminaba, ya eran por ese entonces elementos autónomos, capaces de realizar una simple tarea por si solos.

En la Edad Media, también surgían pequeñas ideas de automatización aplicadas a esculturas. El gran Leonardo Da Vinci, pionero en el desarrollo de múltiples artilugios que se utilizaron para ayudar en diferentes conflictos, y que lo posicionaron como uno de los grandes maestros de la historia, ideó un artilugio con la estética de un león, capaz de moverse por una habitación, para fascinar al rey Francisco I de Francia.^[13]

Pero es en la revolución industrial, en los años 1750, cuando la automatización de tareas empieza a abrirse paso en el mundo de la industria, agilizando multitud de procesos.

- Máquinas de tejido controladas por tarjetas perforadas.
- Máquinas especiales para corte de metal.
- Tornos automáticos.
- Surgen los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos para máquinas de corte automático.

Todas estas herramientas perseguían un objetivo común:

- Mejorar la calidad y uniformidad del producto.
- Minimizar el esfuerzo y tiempos de desarrollo.
- Mejorar la productividad, reduciendo los costos de manufactura mediante un mejor control de la producción.
- Reducir la intervención humana y sus posibles errores.
- Aumentar la seguridad del personal.

Para la automatización de procesos, se desarrollaron máquinas operadas con controles programables, actualmente con gran ampliación en industrias como la textil y la alimentación.

La inserción de tecnologías de la información en la producción industrial de los países desarrollados ha conocido un ritmo de crecimiento cada vez más elevado en los

últimos años, dado que, gracias a ello se amplía la capacidad de controlar la producción con máquinas de control computarizado y permite avanzar hacia mayores y más complejos sistemas de automatización.

Aunque es evidente que la automatización sustituye en gran parte el trabajo humano, en muchas ocasiones permite así conseguir un grado de especialización mayor, ahorrando esas tareas pesadas, que difícilmente puede ejecutar un humano en el mismo tiempo y con la misma exactitud que una de estas máquinas.

Hemos podido comprobar como el gran avance que hemos conseguido en el último siglo, se debe sobre todo a la adaptación de este tipo de ideas en los diferentes mercados. Y esto ha abierto muchos tipos de vías diferentes tanto de estudio como de ejecución.

Actualmente se empieza a plantear la posibilidad de añadir coches autónomos al día a día, grandes empresas tecnológicas y fabricantes como Google, Tesla o Ford, entre otras, quieren hacerse con el negocio del vehículo autónomo. Llevan años estudiando la forma de posicionarse como los primeros en implantar estas tecnologías en nuestras carreteras. Y algunos de ellos, como Tesla, ya cuentan con vehículos que tienen alguna de estas funcionalidades incorporadas, Tesla en este caso, cuenta con “autopilot”, un software que sigue actualizando diariamente y que gracias al cual ya se han evitado algunos accidentes. Este software se basa en la utilización de diferentes sensores repartidos por el vehículo, que junto a un potente algoritmo ofrece una conducción automatizada asistida, manteniendo distancia de seguridad con los otros vehículos de la carretera, respetando las diferentes señalizaciones e incluso es capaz de prever movimientos de otros vehículos y anticiparse a estos. Aunque todavía, el magnate de los coches eléctricos, sigue recomendando que siempre hay que tener un ojo en la carretera, por mucho que “autopilot” esté llevando el vehículo, y es que, con lo poco que lleva implantada esta tecnología, hay situaciones con las que no es capaz de reaccionar. En la Figura 3.1, vemos un ejemplo de la decisión que este sistema puede tomar en base al conocimiento que los diferentes sensores le dan respecto al medio en el que se encuentra, para sortear otros vehículos en la carretera.

Autopilot, es a día de hoy el software de asistencia a la conducción más potente del mercado, pero la competencia es alta. Tal que otros grandes fabricantes como Audi o

BMW no paran de incorporar a sus vehículos nuevos sensores para potenciar esta automatización.

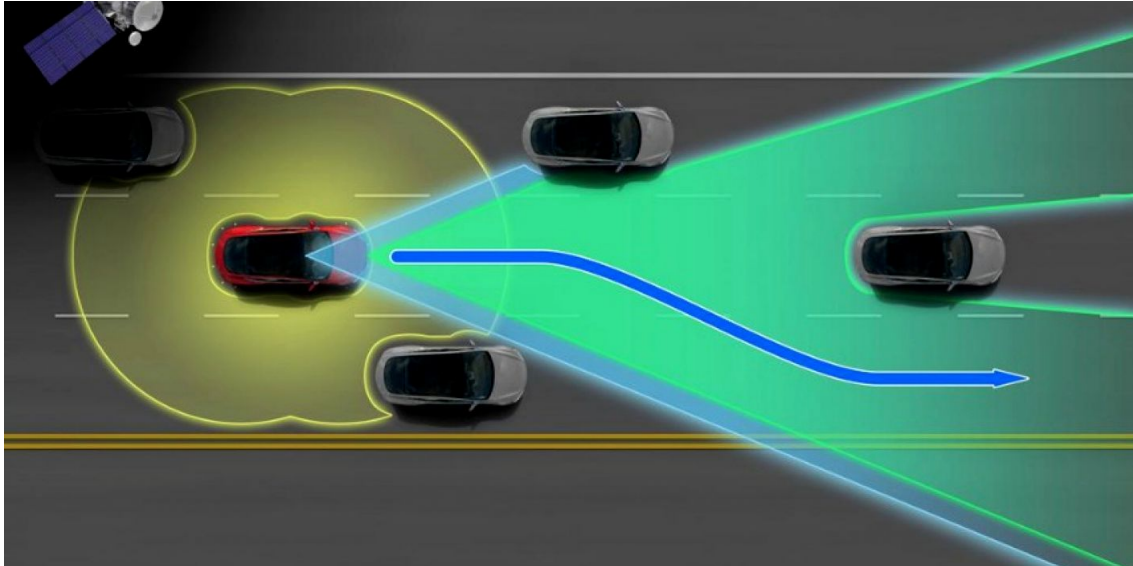


Figura 3.1 – Autopilot

Ken Washington, es uno de los mayores expertos mundiales en este frente, vicepresidente mundial de investigación e ingeniería avanzada de Ford, cree que, entre cinco y diez años, es el tiempo que tardaremos en ver coches autónomos. Cree firmemente que el “software” nos va a reemplazar al volante, lo cual no parece una idea descabellada. Y es que hoy en día, se pierden multitud de vidas en las carreteras de todo el mundo, podemos llegar al punto en que el transporte terrestre sea igual de seguro que el aéreo.

El mayor referente en este tema, está siendo sin duda, Tesla, Elon Musk, CEO de Tesla y otras muchas empresas tecnológicas, punteras actualmente, tiene grandes ideas e invierte mucho dinero y tiempo en llevarlas a cabo, así como Tesla no es ni mucho menos su único proyecto, está abriéndose paso en el mercado de la energía con sus placas solares y baterías infinitas. Uno de los proyectos más interesantes con respecto a los vehículos y la automatización, son las autopistas ^[15] que quiere acabar implantando por debajo de las ciudades, con accesos en la superficie, donde los vehículos se introducen en estos túneles automatizados, para mejorar el tráfico, disminuir la contaminación y reducir las aglomeraciones de coches en las grandes ciudades. Podemos ver en la Figura 3.2 y la Figura 3.3, una idea de lo que quiere lograr Tesla Motors.



Figura 3.2 – Entrada a las autopistas ideadas por Tesla Motors



Figura 3.3 – Transporte de vehículos en las autopistas ideadas por Tesla Motors

En cuanto al mundo de lo aeroespacial, nos interesa conocer el estado en el que se encuentra hoy en día el mundo de los drones, bastante conocido y escuchado últimamente, debido a la gran aceptación que han tenido en la sociedad, ya no solo como juguetes y artilugios de entretenimiento. Si no que parten desde el mundo de la competición hasta la utilización en empresas muy punteras en el Siglo XXI.

La mayor utilidad de estas máquinas, de manera controlada, se ve en:

- Eventos, mundiales de futbol, competiciones de motor, abriendo una nueva gama de posibilidades al periodismo fotográfico y a los cineastas.
- Transporte, parece increíble pero ya hay algunos países que han permitido la posibilidad de transportar pedidos con estas máquinas. China, Rusia o Israel son potencias donde podemos ver a estos drones actuando como mensajeros.
- En situaciones de emergencia, permite llevar la ayuda necesaria, traslado de sangre o incluso evaluar en una fase previa el estado del lugar.

- Búsqueda de personas, la cantidad de sensores que puede poseer, así como la incorporación de cámaras de alta calidad, unidas ya bien a algún algoritmo de reconocimiento o gracias a la transmisión en directo de estas imágenes, es capaz de ayudar a las tareas de búsqueda en bosques o montañas difícilmente accesibles.
- Control de incendios forestales.
- Investigaciones arqueológicas.

Estas son algunas de las utilidades que hoy en día se están dando a los drones, pero aún teniendo toda la potencia que podemos ver, sigue aún pendiente la viabilidad de su uso en lugares con gran aglomeración de personas, como es el caso de las ciudades. Un claro ejemplo, es la legislación de EEUU ^[16], la cual paró los pies al gigante Amazon, a la hora de poner en marcha sus repartos mediante estos vehículos aéreos no tripulados, pues está abierto a múltiples lagunas en cuanto a la seguridad, y es de dominio público, que el espacio aéreo de un país es posiblemente una de las zonas con más restricciones que hay.

La potencia de la automatización es claramente visible en múltiples tareas cotidianas y se intenta hacer hueco en las que aún seguimos manejando manualmente. La posibilidad de llegar a donde estamos actualmente, a nivel tecnológico, no habría sido posible sin la invención de estas máquinas. Así como el amplio conocimiento que hemos podido transmitir a lo largo de todo el planeta, gracias a Internet, nos abre infinitas posibilidades y variables para llevar a cabo.

Últimamente están saliendo a la luz muchos estudios, que nos animan a cuidar más el planeta, dado que la sobreexplotación de las materias primas, que ha acelerado el cambio climático, nos lleva a preocuparnos por lo que será del ser humano en el siguiente siglo.

El astrofísico, Stephen Hawking ^[14], confía firmemente en que debemos empezar a plantear la posibilidad de colonizar otros planetas, debido al poco tiempo que cree que le queda al nuestro. A su vez, conocemos que la Nasa o la agencia espacial Rusa, tienen un nuevo competidor privado, que promete llevar vida a Marte con sus nuevos avances. SpaceX, empresa de Elon Musk, el que posiblemente será conocido como el mayor revolucionario de la tecnología en el siglo XXI, ya está probando sus aeronaves que parecen ser una opción clara de empezar a entender mejor el universo que nos rodea. En la Figura 3.4 vemos una de las imágenes con las que dicha empresa anuncia sus naves.



Figura 3.4 – SpaceX

4 – Especificación

Se ha implementado un sistema autónomo capaz de llevar a cabo una tarea, de tal manera que, en el momento de recibir las instrucciones necesarias, pueda ser capaz de coordinarse entre sus diferentes partes y completar dicha tarea.

El objetivo es que, dada una tarea específica, de búsqueda, sea capaz de recabar esa información, estudiar su viabilidad y llevarla a cabo si fuese posible.

Para ello vamos a contar con tres partes claramente diferenciadas, las cuales se coordinan para poner en funcionamiento dicho sistema:

- HUARGO, vehículo terrestre no tripulado, al cual se han adherido múltiples sensores, térmicos, de distancia, ...
- ARCHER, vehículo aéreo no tripulado, al cual se le dota de varios sensores para conocer su altitud, distancia, posicionamiento, giro, así como, dotándole de una cámara especial, con un software de reconocimiento de formas y colores.
- Aplicación de gestión, una aplicación móvil de gestión y prueba, mediante la cual pueden comunicarse las instrucciones o modificar las diferentes configuraciones de cada vehículo.

Dada la complejidad del sistema, y la imposibilidad de llevar a cabo estos desarrollos con altos presupuestos, se opta por adaptar y construir, estos prototipos con materiales y envergaduras lo suficientemente cómodas para su testeo y prueba.

4.1- Análisis de requisitos

Vamos a distinguir dentro del proyecto dos tipos de requisitos: los funcionales y los no funcionales. En los requisitos funcionales, definiremos el comportamiento interno de cada uno de los vehículos y de la aplicación de gestión. En los requisitos no funcionales, especificaremos criterios que puedan usarse para juzgar la viabilidad del sistema.

A continuación, exponemos ambos tipos de requisitos más detalladamente.

4.1.1 – Requisitos funcionales

La principal función del sistema es la de obtener información acerca de la ubicación de un objeto, dado su forma y color, mediante el vehículo aéreo, que posee un modulo de visión con reconocimiento de formas y colores, y ser capaz de transmitir instrucciones al vehículo terrestre, este segundo vehículo debe ser capaz de recibir, interpretar y ejecutar dichas instrucciones, siendo capaz de poder variarlas si alguno de los sensores que lleva incorporados interpreta que no puede realizar dicha acción.

El usuario podrá manipular y configurar el sistema mediante la aplicación de gestión, mediante una interfaz gráfica en la cual presenta las diferentes configuraciones para cada vehículo.

Las opciones disponibles en la aplicación son:

- ARCHER
 - Chequeo del nivel de batería del vehículo.
 - Distancia de seguridad aplicada a los sensores.
 - Testeo de los motores, modificando la velocidad de cada uno.
- HUARGO
 - Chequeo del nivel de batería del vehículo.
 - Distancia de seguridad aplicada a los sensores.
 - Testeo de los motores.
 - Control manual, vía Bluetooth podrán manejarse las funciones primarias para su testeo.

Los vehículos contarán con las siguientes funcionalidades definidas e implementadas gracias a su hardware y software, incorporado para llevar a cabo esas tareas de proceso y ejecución:

- ARCHER, que se muestra en la Figura 4.1, es un vehículo aéreo no tripulado, con la posibilidad de:
 - Volar en cualquier dirección.
 - Establecer una distancia de seguridad con los objetos y el entorno que lo rodea en cada momento.

- Detectar formas y colores, gracias al modulo de reconocimiento adherido a su estructura.
- Comunicarse con el segundo vehículo HUARGO, para enviarle las señales pertinentes.



Figura 4.1 ARCHER

- HUARGO, que podemos observar en la Figura 4.2, es un vehículo terrestre no tripulado, con las siguientes funcionalidades:
 - Llevar a cabo una conducción en todos los sentidos.
 - Establecer distancia de seguridad y adelantarse a los diferentes obstáculos que pueda encontrar gracias a sus sensores.
 - Comunicación directa con ARCHER, para seguir las instrucciones recibidas.
 - Comunicación directa con la aplicación de gestión para su puesta a punto.



Figura 4.2 HUARGO

4.1.2 – Requisitos no funcionales

Fiabilidad y robustez

Al ser un sistema de tal complejidad y cuyo uso se espera de manera autónoma, es importante comprobar la robustez del sistema antes de su puesta en marcha, así como de pasar las revisiones necesarias en la maquinaria de los vehículos de forma periódica, pues un pequeño desajuste o variedad en la configuración puede provocar una mala ejecución de las instrucciones y poner en conflicto el sistema.

Rendimiento

La principal función del sistema es la de observar, procesar, comunicar y ejecutar una tarea dada. Debe ser capaz de mantener una comunicación constante en el sistema, es por ello que hay que tener en cuenta los recursos que utiliza, las baterías que consume y que estas deban estar en perfecto estado para su buena ejecución. Dado el alto nivel de consumo que requiere no puede ser un sistema que se mantenga activo por si solo a lo largo de varias horas. Por lo que habrá que mantener sus fuentes de energía siempre cargadas antes de su ejecución.

4.2 – Especificaciones del sistema

El sistema se basa en dos partes bien diferenciadas, que se coordinan para llevar a cabo la tarea especificada.

Por un lado tenemos el vehículo aéreo no tripulado, ARCHER, el cual cuenta con las siguientes especificaciones:

4.2.1 – Especificaciones ARCHER

4.2.1.1 – Hardware

Motores

Este vehículo aéreo está dotado con cuatro motores A2212 1000KV con capacidad para 400gr de peso cada uno, junto con sus respectivos controladores 30A ESC, necesarios para gestionar la velocidad de un motor eléctrico junto con el sentido de giro. Los ESC varían el ratio de cambio de una red de transistores de efecto de cambio (FET). Este grupo de transistores hacen posible un control más suave y preciso de la velocidad de giro de los motores. A continuación, en la Figura 4.2.1.1, podemos observar las diferentes partes que conforman los motores Brushless.



Figura 4.2.1.1 – Motor Brushless

Estructura PLC

El primer aspecto que se tuvo que decidir fue la estructura a utilizar, en función de esta decisión se desarrollaría un diseño u otro. Actualmente para la estructura de un dron se utilizan distintas variantes, las más usadas son en “X” o “+”, dejando en ambas el control en el centro de gravedad. Vemos a continuación en la Figura 4.2.1.2, las estructuras más comúnmente utilizadas [9].

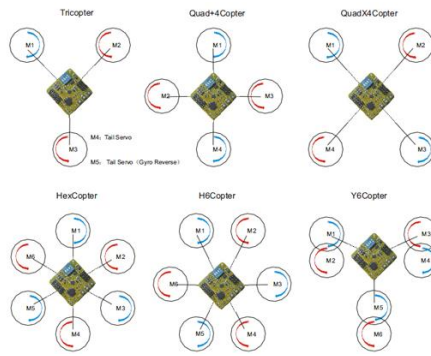


Figura 4.2.1.2 – Diferentes estructuras de un dron

En un principio se desarrollo una estructura, mediante dos placas de fibra de vidrio, que se recortaron para conseguir el diseño que se había ideado, a la que se anclaron unas barras de aluminio donde sostener los motores, junto con una estructura interna para anclar el procesador y demás elementos, como la cámara que llevará integrada. Una vez diseñada y montada dicha estructura, debido al peligro de rotura, por su fragilidad, y a la alta cantidad de tiempo que llevo su montaje, se decidió utilizar una estructura ya fabricada, de fibra de vidrio con elementos de PLC para las extremidades donde anclar los motores

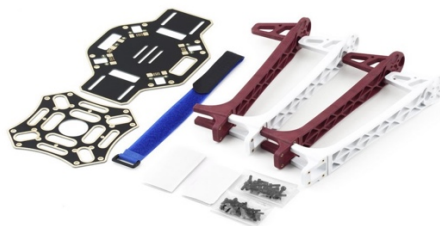


Figura 4.2.1.3 – Estructura utilizada para el dron HUARGO

Esta segunda estructura, mostrada en la Figura 4.2.1.3, donde podemos ver todos los elementos que la conforman, nos ayudará a la hora de realizar todas las pruebas necesarias, en caso de rotura será más fácil y rápido conseguir una nueva, pues hay proveedores que las facilitan, así nos aseguramos que la estructura definitiva no resultara

dañada y se utilizara en el momento en el que el sistema quede cerrado a su versión definitiva.

A continuación, en la Figura 4.2.1.4, se muestra la estructura que será la definitiva, que fue desarrollada y que permanece a la espera de ensamblado en un futuro.



Figura 4.2.1.4 – Estructura desarrollada mediante fibra de vidrio

Controlador

La primera decisión fue optar por un módulo Paralela Board ^{[3][4]}, que podemos ver en la Figura 4.2.1.5, que cuenta en su interior con una FPGA Zync Z7020, la gran potencia que tiene este chip era ideal para el objetivo a conseguir, desarrollando un controlador personalizado, tendría potencia suficiente para todas las tareas necesarias, incluso las que necesitan una alta capacidad de procesamiento, y muy potente para seguir añadiendo todo tipo de funcionalidades en un futuro, pero su alta complejidad para desarrollar todos los controladores de los sensores necesarios, junto con la falta de mano de obra, obligaron a tomar un cambio de rumbo, no por ello menos eficiente, si no necesario para el momento de su desarrollo. Por lo que se optó por acoplar una plataforma electrónica de código abierto, más económica y fácil de programar, Arduino ^[1]. El cuál podemos observar en la Figura 4.2.1.6.

Arduino ^{[2][6]} posee un microcontrolador ATMEGA328, acoplado a una placa Hardware que nos provee de una interfaz de puertos y periféricos. Con una amplia comunidad de desarrollo detrás, posee múltiples librerías que facilitan la tarea de comunicación con los diferentes módulos, como los motores brushless, motores paso a paso, sensores térmicos, de proximidad, etc.

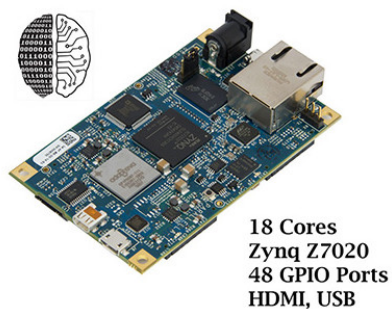


Figura 4.2.1.5 – Placa Paralela Board



Figura 4.2.1.6 – Arduino UNO

Comunicación

Para la comunicación entre ambos vehículos se pensaron diferentes protocolos, en un principio hacerlo vía wifi era ideal, creando una red local desde uno de los vehículos, debido a que el alcance de una red wifi es bastante alto, pero los módulos wifi tienen un alto costo, por lo que se pensó en utilizar Bluetooth para la comunicación, que abriría la vía a conectarse con un dispositivo móvil o PC, pero el alcance del Bluetooth es demasiado bajo, entre 1 y 30 metros.

Sin embargo, existe un estándar de comunicaciones inalámbricas, llamado ZigBee, diseñado por la ZigBee Alliance. Es un conjunto de soluciones que tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras y que busca maximizar la vida útil de las baterías. En este caso, este estándar es implementado en unos módulos Xbee serie 2, los cuales están optimizados para obtener un alcance mayor que el Bluetooth. Pueden llegar a alcanzar desde los 90 metros hasta los 1200 metros.

Estos módulos Xbee [7], que podemos observar en la Figura 4.2.1.7, son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes FAST POINT-TO-MULTIPOINT o para redes PEER-TO-PEER. Diseñados para aplicaciones que requieren un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible.



Figura 4.2.1.7 – Módulo XBee

Para la comunicación con la aplicación móvil se vieron diferentes módulos Bluetooth capaces de comunicar la aplicación y el dron ARCHER, en este caso se decidió optar por un módulo del fabricante Read Bear. La BLE shield V2, mostrada en la Figura 4.2.1.8, es compatible con Arduino y permite una conexión con la aplicación móvil de iOS, que es la que se diseñó para las pruebas y puesta en marcha de este sistema.

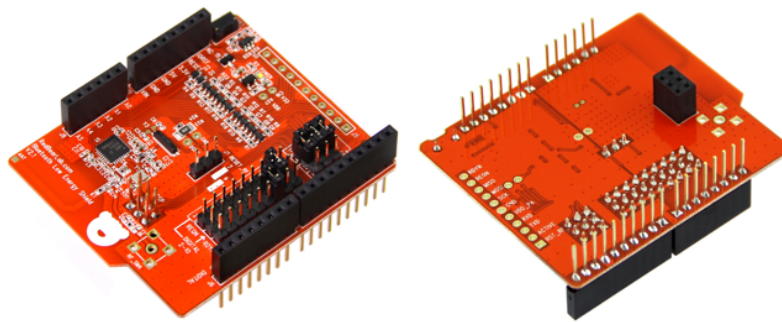


Figura 4.2.1.8 – Shield BLE v2, Red Bear

Módulo de visión

Pixy CMUCam 5 [5], es un sensor de imagen con un poderoso procesador que se puede programar para enviar la información que está buscando, exporta la información por un puerto serial UART, SPI, I2C, digital out o analógicas. Posee una capacidad de procesamiento a 50 fotogramas por segundo. Podemos observar este módulo en la Figura 4.2.1.9. A continuación, listamos algunas de sus características:

- Procesador NXP LPC4330, 204 MHz, dual core
- Memoria RAM: 264kb
- Consumo: 140 mA
- Sensor de imagen Omnivision OV9715, 1/4", 1280x800

- Angulo de visión: 75 grados horizontal, 47 grados vertical
- Reconocimiento de imagen sencilla
- Peso 25,5g

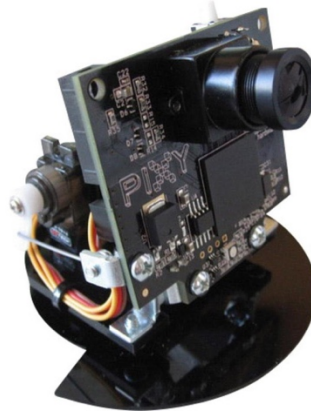


Figura 4.2.1.9 – Módulo Pixy CAM

Sensores

El sistema requiere de dos sensores para su correcto funcionamiento, a continuación listamos las características y definición de los sensores utilizados:

- Sensor ultrasónico de medición de distancia

Se acoplaron tres de estos sensores a la estructura del vehículo para poder tener constancia de los objetos que lo rodean.

Este modulo HC-SR04, es un sensor de ultrasonidos, que se basa en medir el tiempo entre el envío y la recepción de un pulso sonoro.

Sabiendo que la velocidad del sonido es de 343 m/s. Transformando unidades resulta

$$343 \frac{m}{s} \cdot 100 \frac{cm}{m} \cdot \frac{1}{1000000} \frac{s}{\mu s} = \frac{1}{29.2} \frac{cm}{\mu s}$$

Figura 4.2.1.10 – Fórmula velocidad del sonido

Es decir, el sonido tarda 29,2 microsegundos en recorrer un centímetro. Por tanto, se puede obtener la distancia a partir del tiempo entre emisión y recepción del pulso mediante la siguiente ecuación.

$$Distancia(cm) = \frac{Tiempo(\mu s)}{29.2 \cdot 2}$$

Figura 4.2.1.11 – Fórmula calculo de la distancia

El motivo de dividir por dos el tiempo, es porque se mide el tiempo que tarda el pulso en ir y volver, por lo que la distancia recorrida por el pulso es el doble de la que queremos medir.

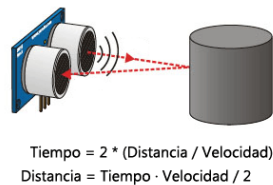


Figura 4.2.1.12 – Ilustración del funcionamiento de un sensor de distancia

- Acelerómetro y giroscopio MPU6050

Un giroscopio es un dispositivo que mide velocidades angulares basándose en el mantenimiento del impulso de rotación. Muestra el cambio de rango en rotación en sus ejes X, Y, Z.



Figura 4.2.1.13– Módulo Acelerómetro y Giroscopio, MPU-6050

Un acelerómetro, mide la aceleración, inclinación o vibración y transforma la magnitud física de aceleración en otra magnitud eléctrica.

El circuito integrado MPU-6050^[8], mostrado en la Figura 4.2.1.13, contienen un acelerómetro y giroscopio MEMS en un solo empaque. Estas son sus especificaciones:

- Salida digital de 6 ejes
- Giroscopio con sensibilidad de ± 250 , ± 500 , ± 1000 y ± 2000 dps
- Acelerómetro con sensibilidad de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$
- Algoritmos embebidos para calibración
- Sensor de temperatura digital
- Entrada digital de video FSYNC
- Interrupciones programables
- Voltaje de alimentación: 2.37 a 3.46V
- Voltaje lógico: 1.8V $\pm 5\%$ o VDD
- 10000g tolerancia de aceleración máxima

Alimentación

Se incorpora una batería de litio, Floureon Li-Polymer, que podemos observar en la Figura 4.2.1.14, la cuál alimenta los motores y el controlador Arduino. Sus especificaciones son:

- 11.1 V
- 5500 mAh
- Descarga: 35C
- Celular: 3 baterías
- Dimensión: 155 * 45 * 25 mm



Figura 4.2.1.14 – Batería Dron, Flureon

Lenguajes de programación

La programación de Arduino es la programación de un microcontrolador. Pero cuenta con un entorno de programación sencillo y potente para programar, además incluye las herramientas necesarias para compilar el programa y trasladar el programa ya compilado en la memoria flash del microcontrolador.

Un programa de Arduino se denomina Sketch o proyecto y tiene la extensión .ino

La estructura de un Sketch es bastante simple y se compone de al menos dos partes:

- `setup()`, lugar establecido para la inicialización de variables y los diferentes módulos.
- `loop()`, sección de código que se ejecuta continuamente durante la ejecución del programa, aquí se establecen las diferentes funciones para recoger datos de los sensores y transmitir la información a los motores u otros módulos.

Motores

- Servomotor

Para controlar la dirección del motor se incorporo un Servomotor a las ruedas delanteras. Que nos permite manipular la dirección de estas y así poder dirigir el vehículo en la dirección que se requiera. En la Figura 4.2.2.1 mostramos el Servomotor utilizado en este proyecto con sus diferentes componentes.



Figura 4.2.2.1 – Servomotor

- Motor de continua

Las ruedas traseras del vehículo, son las ruedas motrices, cuyo movimiento se impulsa gracias a un motor de continua, capaz de desplazar el vehículo hacia delante y hacia atrás.

Este motor, el cuál podemos observar en la Figura 4.2.2.2, es un motor de continua, el cual convierte la energía eléctrica en mecánica. Se compone de dos partes: el estator y el rotor. El estator es la parte mecánica del motor donde están los polos del imán. El rotor es la parte móvil del motor con devanado y un núcleo, al que llega la corriente a través de las escobillas.



Figura 4.2.2.2 – Motor de corriente continua

- Módulo de control de motores para Arduino

Para poder controlar los motores mediante el controlador Arduino, es necesario un modulo que pueda facilitar esta comunicación, es por ello que se incorpora un nuevo modulo al Arduino, Adafruit Motor Shield, que permite una fácil comunicación entre los motores y la placa. Podemos observar su estructura y los diferentes pines de los que consta en la Figura 4.2.2.3.

- 2 conexiones de 5V para servos
- 3 puentes H, TB6612 que proveen 1.2A por puente
- 4 conexiones para motores bidireccionales de continua

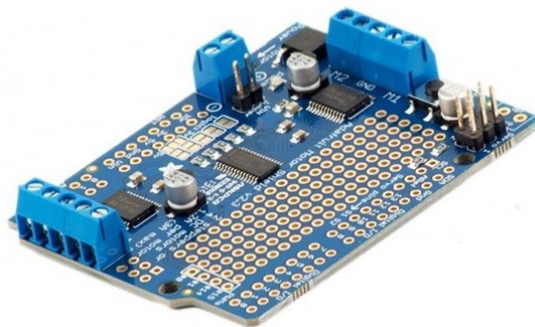


Figura 4.2.2.3 – Módulo de control de motores para Arduino

Estructura

El vehículo terrestre, el cuál mostramos en la Figura 4.2.2.4, se arma bajo una estructura de un coche eléctrico, el cual es modificado para extraer el controlador actual e insertar nuestro controlador personalizado, cambiando el motor de control de la dirección y ajustando la estructura a las necesidades del proyecto.

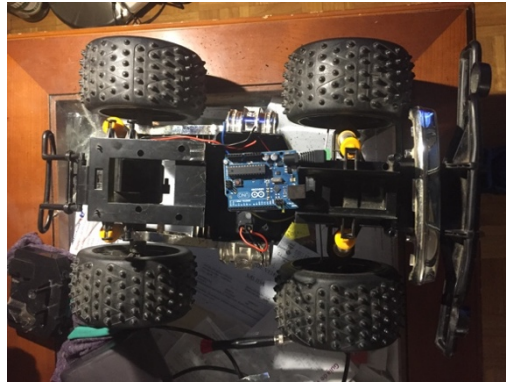


Figura 4.2.2.4 – Estructura para HUARGO, coche eléctrico desarmado

Controlador

Para el vehiculo HUARGO se utiliza el mismo controlador que presentamos anteriormente para el vehiculo ARCHER, Arduino, el cual definimos anteriormente y posee un microcontrolador ATMEGA328, acoplado a una placa Hardware.



Figura 4.2.2.5 – Arduino

Comunicación

HUARGO utiliza un módulo XBee, para comunicarse con ARCHER, este módulo es exactamente igual y posee las mismas características que el lleva incorporado ARCHER y mediante el cual mantienen esa comunicación punto a punto.

A diferencia de ARCHER, el módulo Bluetooth que se incorporó a este vehículo es el HC-06, el cuál se muestra en la Figura 4.2.2.6, fue la primera elección para la comunicación con una aplicación móvil, pero no posee el protocolo BLE requerido por Apple, por lo que solo puede comunicarse con la aplicación Android, la cual se desarrollo para probar y testear el correcto funcionamiento de las instrucciones, los sensores y los diferentes motores.

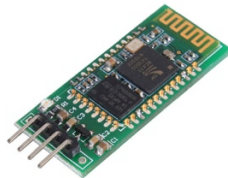


Figura 4.2.2.6 – Módulo Bluetooth HC-06

Sensores

Los sensores que se han incorporado al vehículo son sensores de distancia, para poder detectar obstáculos que pueda encontrarse en el momento de ejecución de la tarea. Estos sensores son exactamente idénticos a los que utiliza el vehículo ARCHER, sensores de ultrasonido que especificamos anteriormente.

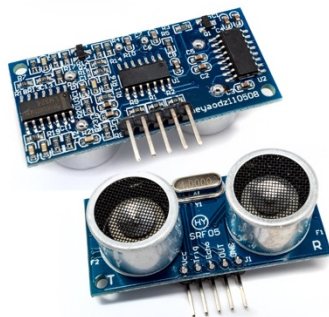


Figura 4.2.2.7 – Sensor de distancia con ultrasonidos

Alimentación

Se reutiliza la batería del coche eléctrico del que parte el vehículo terrestre, una batería de litio de 9.6V a 2000mAh. La cual nos da la energía suficiente para que el sistema funcione correctamente. En la Figura 4.2.2.6 vemos esta batería donde puede observarse la capacidad que tiene



Figura 4.2.2.8 – Batería de 9.6V a 2000mAh del coche eléctrico

Lenguajes de programación

La programación de este vehículo, al igual que para ARCHER, sigue siendo la programación de un controlador Arduino, como indicamos en la sección anterior, es fácilmente programable y posee un entorno de desarrollo muy simple para facilitar esta gestión^{[17][18]}.

4.3 – Planificación y estimación de costes

En este apartado se enumeran los elementos utilizados y su correspondiente precio unitario. Debido a que solamente se están fabricando unos prototipos, el coste de estos es bastante más elevado que si se produjeran en masa. Es por ello que no se trata de un proyecto barato, si no que también por diferentes pruebas e intentos realizados con diferentes tecnologías se han comprado algunos otros dispositivos, que se esperan utilizar en un futuro, como un gasto bastante considerable, que es la Paralela Board, con un coste aproximado de 300 €.

Pero esto no es más que una motivación extra, pues si el día de mañana pudiésemos sacar al mercado este tipo de herramientas, estaríamos pensando en gastos mucho más elevados y es importante tener el conocimiento de lo caro que puede llegar a ser el Hardware necesario.

A continuación , en la figura 4.3.1, se listan aquellos artículos que son necesarios para hacer funcionar este sistema.

Artículo	Unidades	Precio Unidad	Precio Total
Arduino Uno R3	2	19,84€	39,68€
Xbee S2	2	23,51€	47,02€
MPU-6050	2	6,50€	12,00€
Paquete leds y resistencias	1	14,99€	14,99€
Brushless Motors A2212 / 12T 1000KV + élices	4		27,62€
ESC Motor control	4		26,00€
Estructura drone de PLC y fibra de vidrio	1		17,61€
Tornillos M3	1		12,70€
Piezas de plástico como soporte tipo clip	1		6,70€
Cargador Bateria SKYRC iMAX B6 Multi-funcional	1	34,90	34,90€
Floureon- Bateria Li-Polymer	1	33,90€	33,90€
Conjunto de terminales aislamiento, x50	1		1,81€
Pixy CAM, CMUcam5	1		73,00€
Sensor de distancia	5	1,58€	7,90€
BLE shield Arduino	1	21,00€	21,00€
Modulo HC-10 Bluetooth 4.0	1	10,95€	10,95€
Adafruit Motor Shield v2	1	26,68€	26,68€
Total Material			414,46€

Figura 4.3.1 – Coste material del proyecto

5 – Desarrollo del proyecto

Para poder llevar un desarrollo de manera eficiente, lo primero es tener bien claro el objetivo a conseguir. Cuando nos enfrentamos con un proyecto de estas características es difícil no querer pensar que seremos capaces de hacer mucho más de lo que el tiempo nos permite. Así, empezamos ideando un sistema basado en una FPGA, Zync 7020. Debido al tiempo que tardo en entregarse este dispositivo, se empezó por ensamblar las diferentes partes del sistema.

Empezando por el vehículo terrestre HUARGO, con su desarme y adaptación, y continuando con el montaje de la estructura personalizada para el vehículo aéreo ARCHER.

Una vez vistas las limitaciones que se tenían con respecto a la placa Paralela Board, se decidió comenzar con los controladores Arduino y así se empezó con el vehículo HUARGO, el más sencillo de programar y probar, desarrollando una pequeña aplicación Android de comunicación entre el dispositivo y el vehículo. Con la que se pudieron hacer las primeras pruebas de funcionamiento del motor motriz, viendo su correcta ejecución y del Servomotor delantero, para la dirección. También se probaron los diferentes sensores de distancia, y se ajustaron los valores necesarios.

Seguidamente se empezó con la estructura del vehículo ARCHER, la cual fue bastante más compleja, primero ideando esa estructura personalizada con fibra de vidrio y barras de aluminio, que se sustituyó por un ensamblaje facilitado por uno de los proveedores. Aun teniendo un ensamblaje más funcional en ese momento, la estructuración de todos los componentes, sensores y cableado no fue tarea fácil y requirió bastante tiempo para ello. Continuando con el desarrollo del software pertinente y utilizando la aplicación desarrollada en iOS para probar el correcto funcionamiento de los motores. Se programo la lógica necesaria para interactuar con la cámara, y los diferentes sensores.

Por ultimo se desarrollo la conexión mediante Zigbee de los dos controladores para permitir la comunicación entre ambos.

Seguido de una numerosa cantidad de pruebas.

El sistema elaborado en este proyecto, pretende facilitar la tarea de búsqueda y accesibilidad, a continuación la Figura 5.1.1 muestra un diagrama global con el proceso completo que llevarán ambos vehículos en su desarrollo.

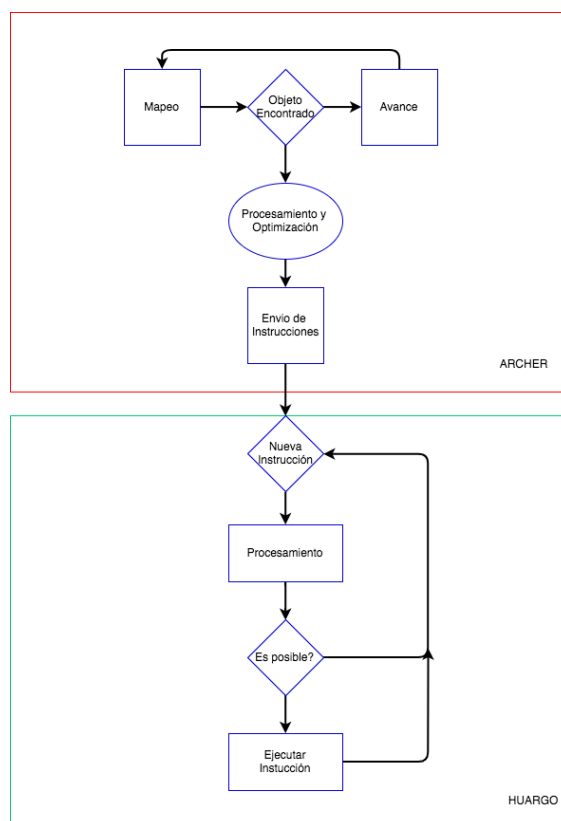


Figura 5.1.1 – Diagrama del sistema completo

Para entender mejor el objetivo y resultado que realizará este sistema, se muestran a continuación los pasos que lleva a cabo el vehículo ARCHER en su ejecución hasta mandar las instrucciones al vehículo HUARGO, el cual ejecutará el recorrido marcado hasta el objetivo.

La Figura 5.1.2 nos muestra como desde el comienzo de la tarea, en uno de los extremos del escenario, ARCHER va mapeando cada sección en busca del objetivo, siguiendo un patrón de búsqueda definido, en el momento que encuentra el objeto, procesa todo el conocimiento adquirido y comienza a enviar instrucciones al vehículo HUARGO, estas instrucciones se han diseñado junto con la optimización del recorrido,

por lo que se puede observar como el segundo recorrido que realiza HUARGO, es mucho más eficiente y rápido que el primero.

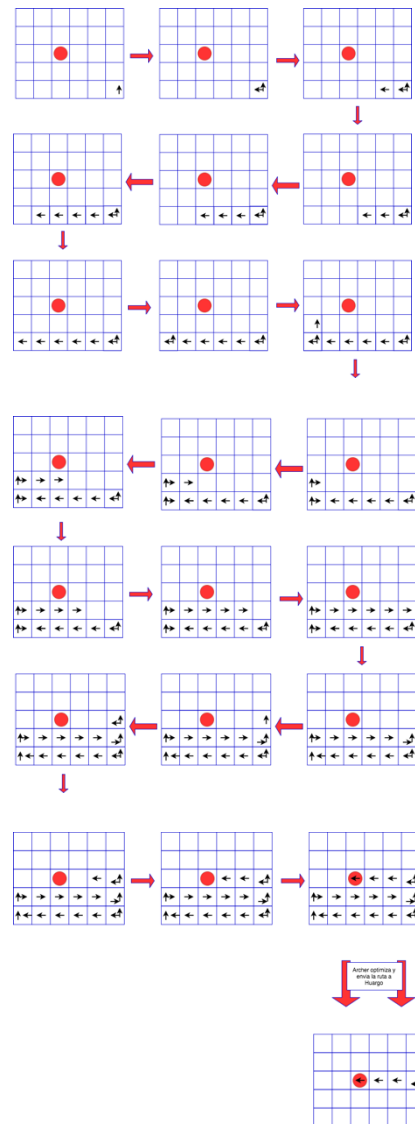


Figura 5.1.2 – Ilustración de la ejecución de la tarea por ambos vehículos

El vehículo ARCHER, mapea el escenario gracias a la cámara que lleva integrada, capaz de reconocer colores y formas. Ejecutando un algoritmo ideado para poder mapear un escenario de estas características, durante su recorrido, no solo va memorizando los pasos realizados, si no que va almacenando una serie de variables que le ayudaran a optimizar las instrucciones que tendrá que mandar al vehículo HUARGO una vez haya encontrado el objetivo.

En caso de que lo encuentre, ejecutará una serie de pasos de optimización y enviará la información necesaria para guiar al vehículo HUARGO. El cuál será capaz de seguir este recorrido y llegar hasta el objetivo.

A continuación se muestran una serie de diagramas que muestran los diagramas de flujo que sigue cada uno de los dispositivos para su correcta ejecución.

5.1.1 – Diagramas

Se ha diseñado un comportamiento basado en una serie de prioridades, mediante el cual el dispositivo ARCHER, es capaz de procesar el terreno en busca del objetivo, dejando a su paso una serie de parámetros en memoria que utilizará para enviar las instrucciones al dispositivo HUARGO, una vez haya encontrado el objetivo y así poder guiarlo.

Este conocimiento que va generando, se basa en almacenar los últimos movimientos, junto con la posición en cada instante, además de utilizar un par de variables, “section” y “level” para optimizar el recorrido del segundo dispositivo.

Para poder entender bien el siguiente diagrama, enumeramos las secuencia de comprobaciones que hace el sistema:

- GD, Giro derecha
- GI, Giro Izquierda
- GO, Avanze
- Ult. Mov GI, el último movimiento es GI
- Ult. Mov GD, el último movimiento es GD
- Position N, el vehículo se encuentra mirando al frente
- Position O, el vehículo se encuentra mirando a la izquierda
- Position E, el vehículo se encuentra mirando a la derecha

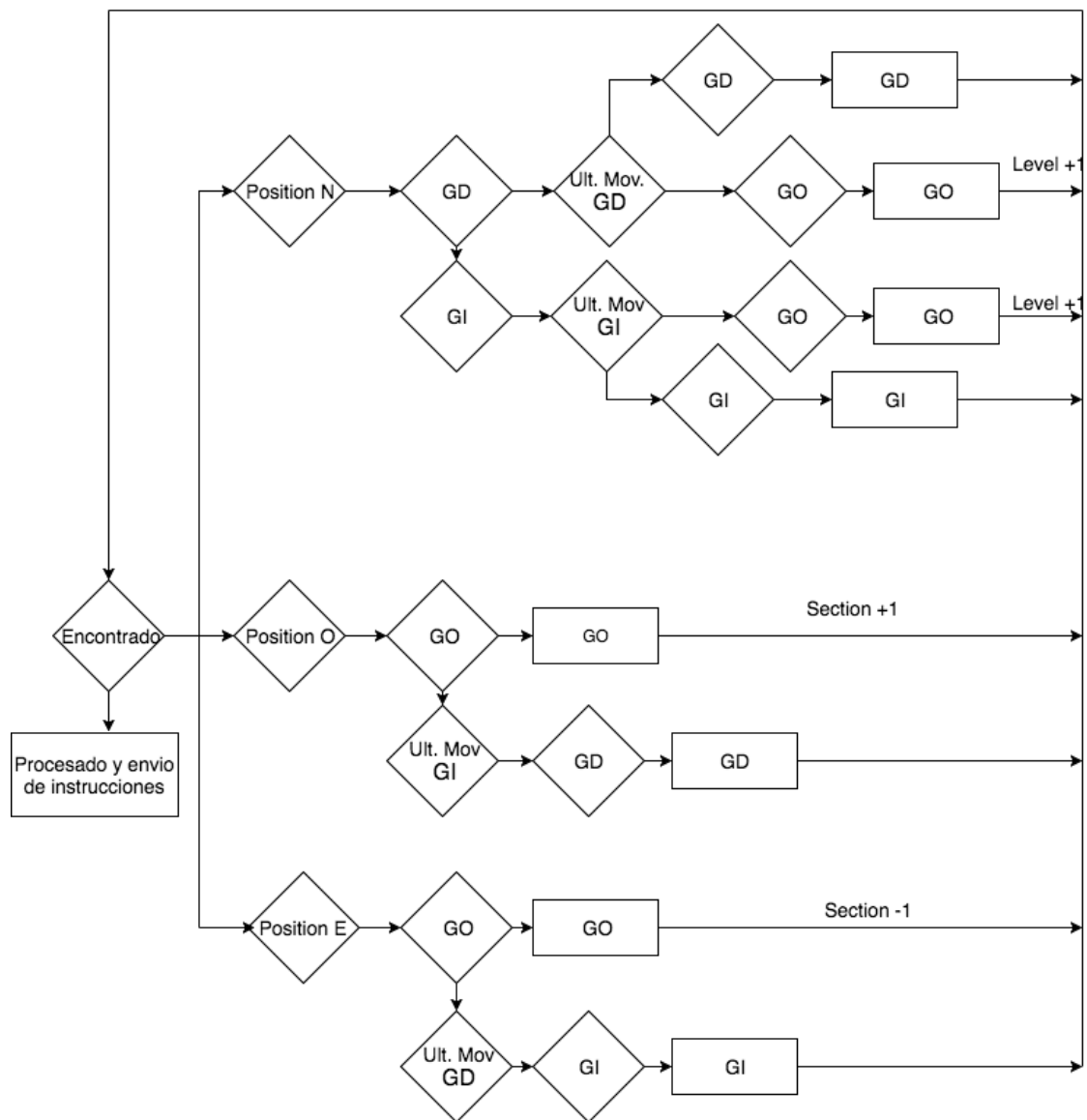


Figura 5.1.1.1 – Diagrama de flujo del comportamiento de ARCHER

En la Figura 5.1.1.1 se detalla el flujo que sigue el sistema ARCHER para la ejecución de sus diferentes tareas, dependiendo de la posición actual y los últimos movimientos realizados.

Para la correcta interpretación de las ordenes por HUARGO, se diseñan unas instrucciones con el siguiente formato:

Type	Params
M (Movimiento)	R (Derecha) L (Izquierda) G (Avance) B (Retroceso)
L (Encendido/Apagado luces)	On (Encendido), Off (Apagado)
C (Comunicación)	-
S (Parada del sistema)	-
V (Aumento/ Reducción de la velocidad)	U (Aumentar), D (Reducir)

Figura 5.1.2.1 – Tabla de instrucciones de HUARGO

El vehículo HUARGO tiene un comportamiento bastante más sencillo que ARCHER, ya que se basa en la interpretación de diferentes órdenes, teniendo la capacidad de:

- Movimiento
- Gestión de luces
- Parada forzada
- Comunicación y respuesta directa
- Aumento o disminución de la velocidad

También posee la capacidad de reacción de no ejecutar una instrucción si alguno de los sensores que posee lo indica, como puede ser una colisión directa con otro objeto. Podemos observar, con más detalle, el comportamiento que sigue HUARGO, mediante un diagrama en la Figura 5.1.2.2 .

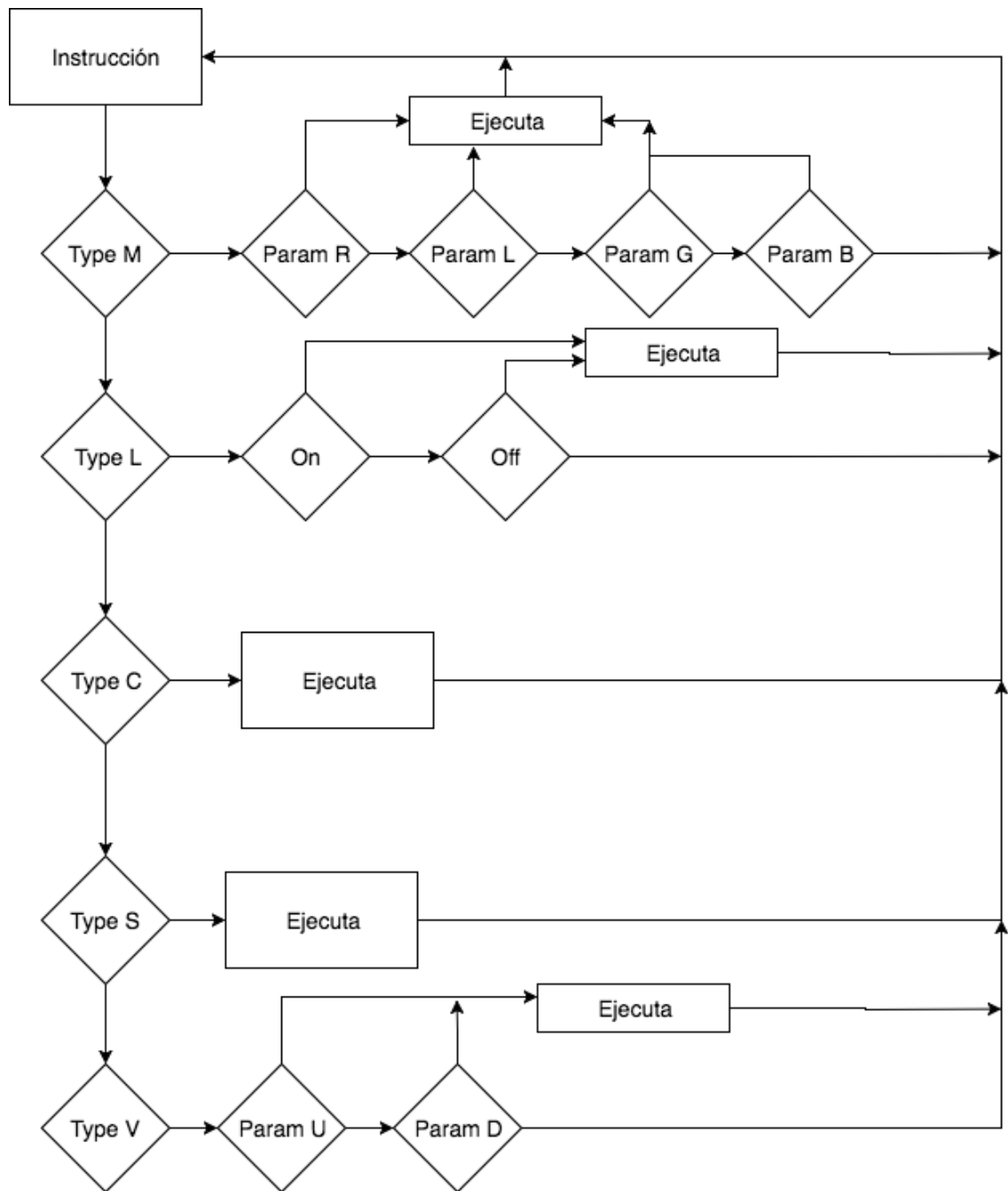


Figura 5.1.2.2 – Diagrama de flujo del comportamiento de HUARGO

En primera instancia se diseñó el circuito en papel, contando con los diferentes componentes que requería el sistema. Más adelante se utilizó la herramienta Fritzing ^[10], mediante la cual se puede diseñar un circuito con los diferentes componentes y el cableado.

Para la elección del mejor diseño, es imprescindible tener en cuenta que no existe una cantidad numerosa de pines de entrada y salida.

A continuación ilustramos dos esquemas con el circuito completo de ambos vehículos:

- ARCHER

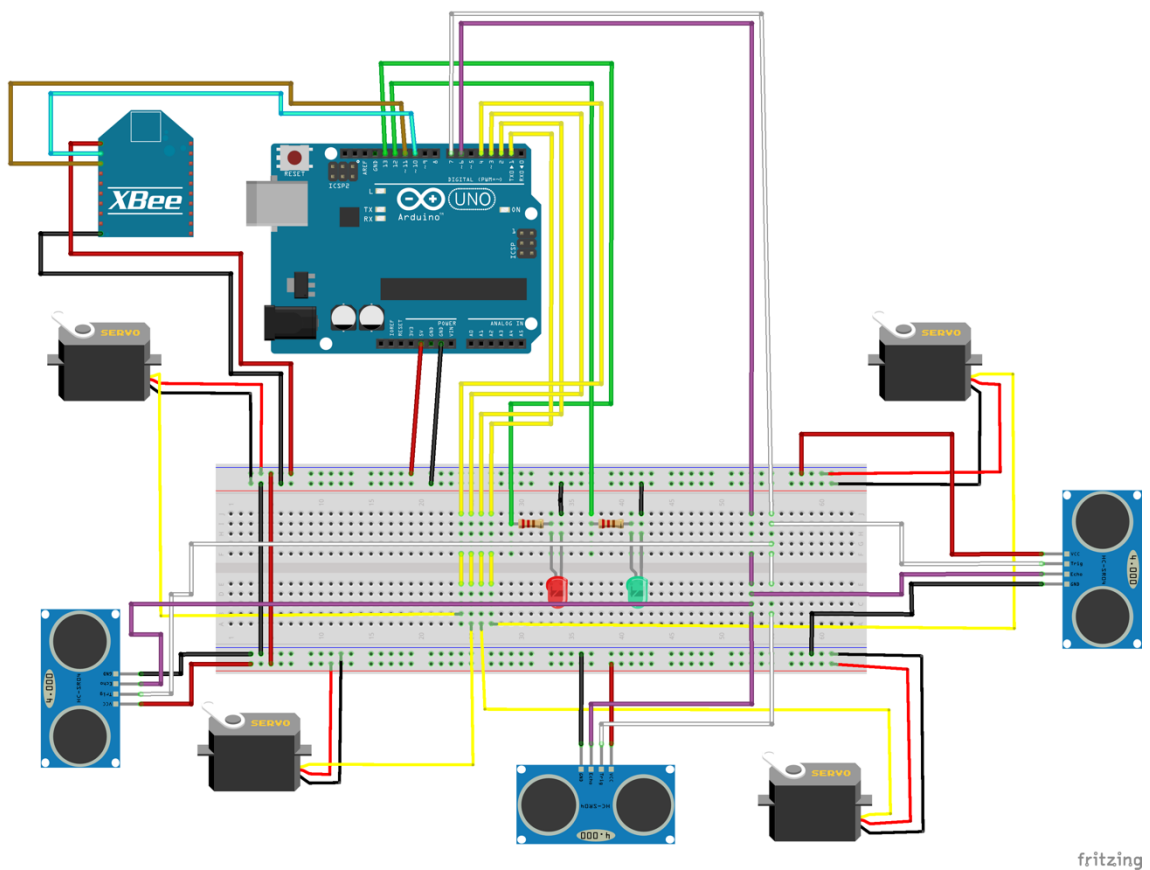


Figura 5.2.1 – Diseño del circuito de ARCHER

- HUARGO

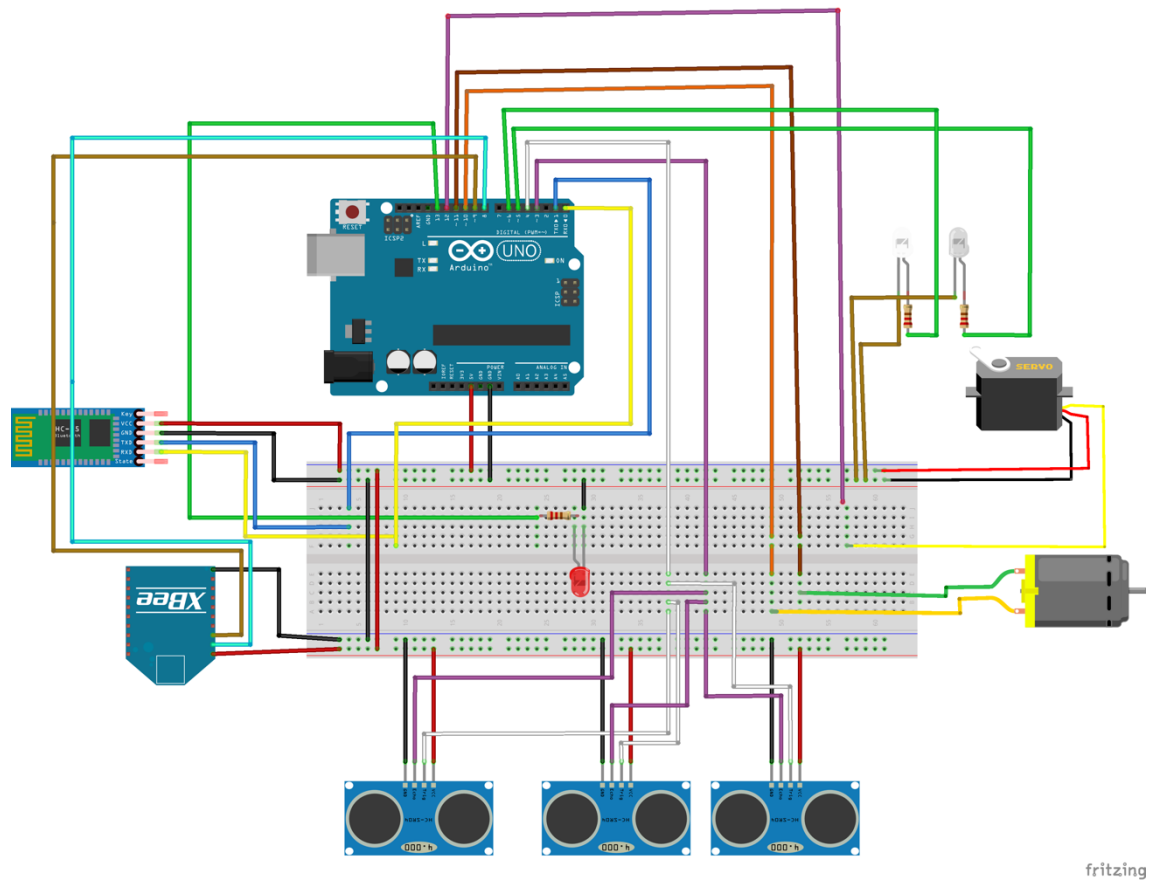


Figura 5.2.2 – Diseño del circuito de HUARGO

5.3 – Implementación

Los diferentes pasos que se siguieron para la implementación del sistema, se dieron de forma iterativa, probando cada uno de los módulos por separado, asegurándonos de su correcto funcionamiento, pues puede haber elementos del Hardware que estén estropeados, hay posibilidad de que alguno se queme por una mala implementación o que no funcionen como esperamos.

A continuación hablamos más a fondo sobre las implementaciones seguidas en cada caso, tanto a nivel Hardware como Software.

5.3.1 – Implementación ARCHER

Para empezar a probar los diferentes sensores y módulos de los que consta este vehículo, se implemento un pequeño programa para calibrar los motores [11].

Antes de la puesta en marcha de estos, es necesario calibrarlos, mediante una secuencia de instrucciones que manda una señal pasados los dos segundos, de esta forma los motores quedan listos para su uso.

Mediante una protoboard, se conectó a los diferentes pines los controladores de los motores y se alimentaron con una fuente de energía de 12V en un principio.

Comprobando su correcto funcionamiento. Y quedando preparada la parte de código para la calibración y modificación de velocidades en los motores.

A continuación, fue necesario implementar un pequeño circuito para probar los sensores de distancia que incorpora ARCHER. Mediante un pequeño programa en el que se obtenían los valores recogidos por los sensores, se calculó con el margen de error necesario una distancia de seguridad de 40cm. Quedando preparado el código que se utiliza en la implementación final para controlar esta obtención de información de los sensores.

La cámara Pixy, que lleva integrada este sistema, no solo requirió de su conexión con el sistema y puesta en marcha del código fuente que ejecuta el controlador de la cámara, si no que hubo que implementar una serie de métodos para permitir el

movimiento de esta, mediante dos servos que lleva incorporada en su estructura, la cual hubo que ensamblar una vez recibida por parte de uno de los proveedores.

A continuación se trabajo con el módulo XBee, con el cuál se realizaron una serie de pruebas para comprobar el correcto funcionamiento y observar la comunicación entre ambos dispositivos antes de armar el circuito completo.

Una de las tareas más tediosas fue la implementación del control PID del dron, esta tarea requiere del sensor MPU6050, que cuenta con un acelerómetro y un giroscopio.

Todos los sistemas autónomos deben trabajar con parámetros que se verán alterados por diferentes perturbaciones, por lo que debe valorar el error que se produce mediante la medición de un resultado experimental.

Manteniendo un valor de referencia, los datos obtenidos por el sensor son comparados con las lecturas para sacar el error, mediante código programado en el controlador Arduino, se ejecutan una serie de operaciones, que se traducen en señales para conseguir la nueva posición, este proceso se mantiene en ejecución continuamente, para conseguir el control deseado.

Con esto, se puede implementar el control de los motores, donde no solo hay que tener en cuenta la posición del sensor MPU6050 en la estructura, para que pueda interpretar correctamente los diferentes cambios en los ejes, si no que hay que tener cierto cuidado en no modificar la altura del dron al estabilizarlo, pues continuas variaciones en este dato puede hacer que perdamos el control de la altura. Para ello, al realizar los giros respecto a cualquier eje, hay que reducir la velocidad de dos motores en la misma magnitud en la que se aumenta la de los otros dos. Esta magnitud es el resultado del control PID ^{[19][20]}, que es la diferencia entre la inclinación que se quiere conseguir y la inclinación actual de nuestro dron.

Siendo X el eje longitudinal con sentido de vuelo positivo, Y el eje lateral con sentido positivo hacia la derecha y Z el eje vertical con sentido positivo hacia arriba, podemos observar en la Figura 5.3.1.1, un esquema que nos ayuda hacernos una idea de su funcionamiento de una manera más gráfica.

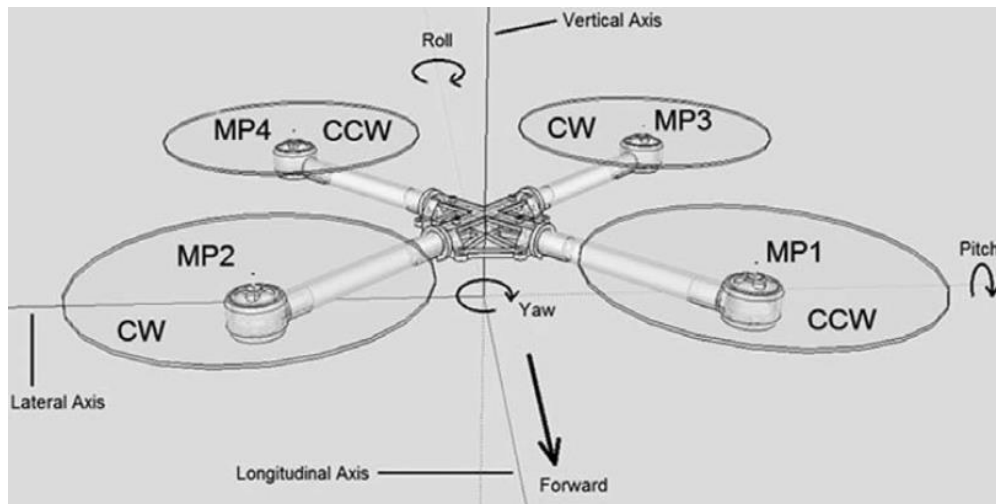


Figura 5.3.1.1 – Funcionamiento de ejes en un dron de tipología X y cuatro motores

La asignación del giro de los motores se establece cruzados dos a dos en sentido horario, esto se define como (CW - Clockwise) y antihorario (CCW – Counter Clockwise)

Un valor constante igual a todos los motores, se traduce en una determinada altura y posición horizontal. Es así como, controlando los cambios de velocidad se consiguen los giros en los tres ejes. [12]

Si realizamos un giro en sentido positivo al eje X, roll, esto provocará que la parte izquierda se eleve y la parte derecha descienda, provocando un desplazamiento hacia la derecha:

- $MP1 = altura - PID_roll$
- $MP2 = altura + PID_roll$
- $MP3 = altura - PID_roll$
- $MP4 = altura + PID_roll$

Sin embargo, si realizamos un giro en sentido negativo al eje Y, pitch, podremos observar como la pareja del fondo se eleva y la frontal descenderá, provocando un desplazamiento hacia delante:

- $MP1 = altura - PID_pitch$
- $MP2 = altura - PID_pitch$
- $MP3 = altura + PID_pitch$
- $MP4 = altura + PID_pitch$

Si lo que queremos obtener es un giro vertical en el sentido positivo (CW), yaw, aumentaremos la intensidad de los motores que giran en sentido horario y disminuirémos exactamente la misma constante en los motores que giran en sentido anti horario:

- $MP1 = altura - PIC_yaw$
- $MP2 = altura + PIC_yaw$
- $MP3 = altura + PIC_yaw$
- $MP4 = altura - PIC_yaw$

Podremos obtener el sentido contrario de giro de todos los ejemplos anteriores cambiando de signo todas las operaciones. A continuación podemos observar en la Figura 5.3.1.2 los diferentes desplazamientos que puede ejecutar un dron de una manera gráfica.

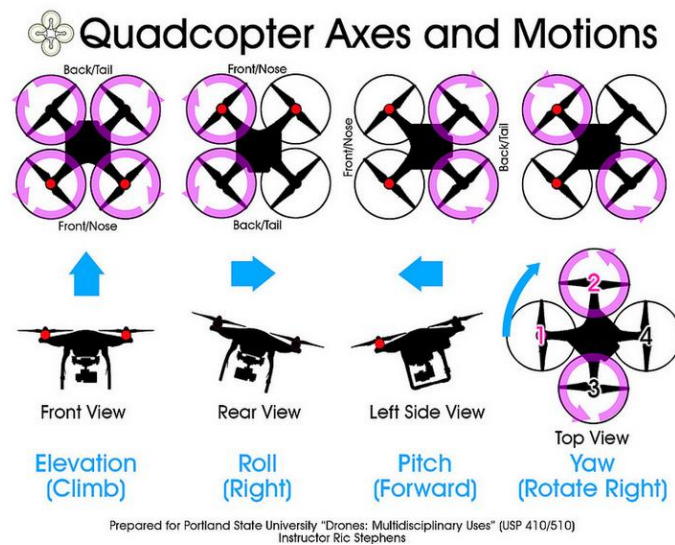


Figura 5.3.1.2 – Diferentes movimientos de un dron

5.3.2 – Implementación HUARGO

HUARGO, el vehículo terrestre, fue construido sobre la estructura de un coche eléctrico, el cual hubo que desmontar y extraer su controlador, junto con adaptar la estructura para poder montar nuestro diseño sobre este.

Teniendo acceso al motor motriz que incorporaba este coche eléctrico, lo primero fue poner en marcha el módulo de control de los motores, para probar el correcto funcionamiento de estos. Debido a que el coche contaba con un motor de continua también para la dirección, el cual estaba controlado mediante una serie de engranajes que hacia que su controlador pudiese manejar la dirección, nuestro sistema no contaba con la posibilidad de manejar ese motor, ya que estaba diseñado de una forma específica por el fabricante y no había opción a manejarlo. Fue entonces donde se decidió desacoplar dicho motor e insertar un Servomotor, con el que si tendríamos acceso a controlar la dirección de las ruedas delanteras.

Una vez insertado nuestro nuevo motor para la dirección, se puso en marcha la implementación del programa necesario para controlar estos motores, tanto motriz, con un motor de continua, como el de dirección, un Servomotor.

Se acopló el modulo Bluetooth HC-06 para empezar a manejar, con la aplicación móvil de Android, la interpretación de las diferentes instrucciones, pudiendo desplazar el coche hacia atrás y hacia delante, así como girar las ruedas delanteras.

Se aprovechó esta conexión con el Bluetooth para encender y apagar un par de leds que van anclados a la parte delantera.

Al igual que con la implementación de ARCHER, se pusieron a prueba los sensores de distancia que se acoplaron a la estructura del coche, para darle ese control del entorno que requiere para saber si puede ejecutar una acción o no.

Una vez, los diferentes módulos han sido incorporados a la estructura, se desarrollaron los programas definitivos para hacer funcionar el sistema en su totalidad. Coordinando la información recibida con los diferentes módulos. Tal y como se representó para cada vehículo en los diagramas mostrados anteriormente.

6 –Resultados y discusión crítica

Durante cada una de las implementaciones llevadas a cabo se realizaron una serie de pruebas de cada uno de los módulos por separado, hasta que una vez ensambladas todas estas partes se pudo realizar el flujo completo.

Uno de los resultados más difíciles de conseguir fue la estabilización del dron, es una tarea tediosa, pues requiere obtener de forma manual los valores del PID, haciendo diferentes pruebas de la estabilización del dron y obteniendo los valores correspondientes.

Estas pruebas de calibración, se realizaron con el dron sujeto por sus extremos, para no correr riesgos con la estructura y errores que pudieran surgir durante las pruebas. Los primeros intentos no fueron satisfactorios, pues las constantes que necesita no eran correctas, mediante la modificación de estas y gracias a las fuentes utilizadas [19][20], se pudieron ajustar estos valores para conseguir una correcta estabilización del dron.

En cuanto a la estructura del dron, hubo que mejorar la adherencia de los diferentes elementos, ya que requiere una buena fijación para que no influya en su estabilidad, una vez realizadas estas mejoras, la estructura cumple con las expectativas que se tenían al principio del proyecto, pues posee una gran estabilidad y no se producen muchas vibraciones.

En cuanto al algoritmo, se tuvieron que ir haciendo una serie de modificaciones a lo largo de su evolución, para conseguir una mejora del sistema, dado que los primeros comportamientos no eran los deseados, pues el sistema no era capaz de priorizar correctamente los pasos que tenía que seguir. Una mejora que se añadió una vez observado como obtenía el conocimiento, es la optimización de las instrucciones que necesita el vehículo terrestre, añadiendo nuevas variables que almacenan el nivel y sección en el que se encuentra al finalizar la tarea, que ayudan a optimizar el camino evitando seguir el mismo recorrido de mapeo que siguió el dron para encontrar el objetivo.

Hemos podido observar la potencia del módulo Pixy CAM, que cumple con creces las expectativas ya que posee un reconocimiento muy preciso, siendo capaz de memorizar y detectar diferentes objetos con una alta velocidad de procesado.

Uno de los mayores problemas que se han tenido al final del desarrollo del proyecto, ha sido la poca protección que tenían los componentes en la estructura, pues

aún no se ha llegado a diseñar y desarrollar un ensamblado que pueda proteger las diferentes piezas de una manera más efectiva. Y es en una de las últimas pruebas realizadas donde se produjeron una serie de desperfectos al probar el vuelo en un espacio abierto, y es que un despegue desde una posición inclinada, provocó una serie de daños en las hélices y componentes del sistema, lo que requirió pedir nuevos componentes a los proveedores, por suerte la cámara, uno de los elementos más potentes y costosos de este sistema no sufrió daño alguno.

Con esto hemos podido corroborar la buena decisión, de optar por una estructura fabricada por uno de los proveedores para probar y reforzar el sistema, dado que si se hubiese optado por continuar con la estructura inicial, al haber sufrido uno de estos accidentes, podríamos tardar mucho más tiempo en volver a ensamblar el sistema, de esta forma basta con esperar la entrega por parte del proveedor y volver a ensamblar el sistema.

En cuanto al vehículo HUARGO, se ha podido comprobar que la estructura utilizada es suficiente para este primer proyecto, pero que sería ideal poseer una estructura con una amplitud de giro mayor. Dado que requiere un amplio espacio para ejecutar su movimiento.

El sistema puede mejorarse en muchos términos, puede trabajarse en una mejor optimización del recorrido o incluso en una gestión más continua del traspaso de ordenes, pues tal y como se ha desarrollado, el vehículo HUARGO recibe y ejecuta instrucción a instrucción, pues se ha podido observar que de alguna forma sería mejor y más eficiente el tener una comunicación más completa, donde pudiese comunicar su posición y espacio recorrido y así trabajar con instrucciones más directas que avanzar X centímetros en cada una de las instrucciones de movimiento.

En definitiva, se ha conseguido realizar el mapeo de una sala en busca de un objeto memorizado por el sistema, evitando la colisión gracias a los diferentes sensores, una comunicación directa entre ambos dispositivos y una correcta ejecución de las instrucciones.

7 – Conclusiones y trabajo futuro

El presente proyecto ha demostrado poseer una complejidad elevada, y para su desarrollo precisa de un extenso conocimiento en diferentes áreas, como son hardware, software, física aplicada, diseño, comunicación y ensamblaje. Por lo que solo contando con un equipo con amplios conocimientos de las diferentes materias, podríamos llevar a cabo prototipos más robustos y fiables.

Se han presentado multitud de variantes que deben ser tomadas en cuenta en el futuro, con el objetivo de mejorar el rendimiento y generar un sistema más escalable de cara a añadir nuevas funcionalidades. Por ello el primer paso deberá ser sustituir los procesadores utilizados por otros de diseño propio, debido a la elevada necesidad de añadir nuevos puertos y mantener varias vías de comunicación directas con el sistema.

Hemos observado, que se debe añadir una pieza muy importante a este sistema, que permita establecer un nexo entre estos vehículos y otros dispositivos que se irán añadiendo al enjambre. Debido a la potencia que requiere un sistema de comunicación entre diferentes dispositivos, es necesario compartir una memoria común y tomar decisiones en conjunto. De esta manera, el siguiente paso en la evolución de este proyecto debería ser diseñar una red de nodos y dentro de esa red, definir un sistema central que pueda comunicarse con otros sistemas centrales de otras redes, a la vez que actuar como base del conocimiento. Todos estos nodos, tendrán un comportamiento autónomo, que se regirá por las decisiones que tomen conjuntamente con el sistema central, el cual recibirá toda la información de los diferentes dispositivos, estableciendo colas de prioridad en función de cada momento y acción.

Para mejorar estos módulos será necesario el diseño e implementación en una FPGA de un procesador específico. Esto se debe a que tiene que contar con toda la cantidad de puertos y procesamiento necesarios para abastecer la alta cantidad de sensores y herramientas que necesite cada uno, como cámaras, motores, módulos de posicionamiento y sistemas de comunicación, como ZigBee, Wi-Fi o Radio.

Ha quedado demostrado que es posible la puesta en marcha de un sistema de esta magnitud utilizando un hardware que no ha sido diseñado para cumplir estas funciones. Sin embargo, la cantidad de posibilidades que ofrece el diseño de un hardware específico, capaz de recopilar más datos con los cuales podremos mejorar el software, nos permitirá

ampliar el poder de cálculo del sistema central. Podremos tener un sistema capaz de realizar cualquier tarea que se nos plantee y podremos adaptarla, de tal forma que, dependiendo de las circunstancias o del objetivo a seguir en cada caso pueda funcionar con precisión.

Lo cierto es que el proyecto que surge de esta primera toma de contacto es inmensamente ambicioso. Por ello será mucho más costoso y habrá que encontrar la forma de financiar un sistema de esta envergadura.

Conclusions

This project has proven to have high complexity and in order develop it precise a deep knowledge in different areas, such as hardware, software, applied physics, design, communication and assembly. Therefore only by putting together a team with wide knowledge about these areas of expertise we would be able to create prototypes sturdier and with more reliability.

Many variants have shown that must be taking in account in the future, in order to improve the performance and generate a more scalable system to cope with new features. To achieve it the first step must be replacing the processors that we used by others of self-design, due the high need of adding new ports and maintain several direct communication routes with the system.

We have noted that a vital piece must be added to this system with the purpose to establish a nexus within these two vehicles and other devices that would be added to the hive. Due to the power that a system of communication between several devices requires it needs to share a common memory and take decisions together. Therefore the next step for the development of this work must be the design of a central system, which will work as a centre of knowledge that will put in connection the different modules that we may add. All of these modules will have self-managed behaviour that will be governed by the decisions that they took in conjunction with the central system that will have an input with all the information coming from the devices, establishing a priority queue according to every action and moment.

In order to improve these modules it would be necessary the design and implementation in a FPGA of a specific processor. This is due to the necessity of having the amount of ports and processing needed to supply the high quantity of sensors and tools that each device required, as cameras, engines, positional modules and communication systems, as ZigBee, Wi-Fi or Radio.

We have proven that it is possible launching a system of this magnitude using hardware that has not been designed to fulfil these functions. However the amount of possibilities that offers the design of a specific hardware, able to compile more data with which we can improve the software, will allow us to increase the central system

computing capacity. We could have a system able to perform and adapt any task given, in a way that depending of the circumstances or the target could work more accurately.

It is certain that the project that emerges from this first contact is truly ambitious, and for that reason it will be much more expensive, so it would be necessary to find a way to finance a plan of this magnitude.

Referencias

- [1] ATmega168/328 Pin Mapping
<https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping168>
- [2] Tutoriales Arduino
<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>
- [3] Paralela Board
<https://parallella.org>
- [4] Paralela Board, Ejemplos
<https://github.com/parallella/parallella-examples/blob/master/README.md>
- [5] Ejemplos Pixy CAM5
<http://charmedlabs.com/default/pixy-cmucam5/>
[http://cmucam.org/projects/cmucam5/wiki/Teach Pixy an Object 2](http://cmucam.org/projects/cmucam5/wiki/Teach_Pixy_an_Object_2)
- [6] Proyectos Arduino
<https://learn.adafruit.com/>
- [7] Especificaciones XBee S2C
<http://xbec.cl/xbec-zb-s2c-th/>
- [8] Tutorial MPU-6050
<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/modulo-acelerometro-y-giroscopio-mpu6050-i2c-twi/>
- [9] Foro de radiocontrol
<https://www.rcgroups.com/>
- [10] Herramienta de diseño de circuitos
<http://fritzing.org/home/>
- [11] Fabricación de un dron.
<http://www.codrone.viguri.org/es/2014-04-10-17-24-56/noticias-relacionadas/8-nuestro-drone-un-cuadricoptero>
- [12] The Physics of Quadcopter Flight
<http://blacktieaerial.com/the-physics-of-quadcopter-flight/>
- [13] UNAD, Universidad Autónoma a Distancia. Automatización. Recuperado de
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/90022/Modulo_2013_II/leccin_18_automatizacin.html

- [14] Javier Pastor, Stephen Hawking avisa: debemos abandonar la Tierra en los próximos 100 años. Recuperado de <https://www.xataka.com/espacio/stephen-hawking-avisa-debemos-abandonar-la-tierra-en-los-proximos-100-anos>
- [15] RTVE, 2017. El fundador de SpaceX y Tesla redefine el transporte en automóvil con un sistema de túneles subterráneos. Recuperado de <http://www.rtve.es/noticias/20170429/fundador-spacex-tesla-redefine-transporte-coche-sistema-tuneles/1534260.shtml>
- [16] ONE AIR AVIACION. Nueva ley de drones en USA. Recuperado de <https://www.oneair.es/nueva-ley-uso-drones-usa-faa/>
- [17] Warren, J.D., Adams, J., Molle, H. (2011). Arduino Robotics. New York, NY: Technology in Action
- [18] Ribas, J. (2013). Arduino Práctico. Madrid: ANAYA Editorial
- [19] Arduino PID, Guía de uso de la librería, traducción de <http://brettbeauregard.com/blog/2011/04/improving-the-beginners-pid-introduction/>
- [20] Visioli, A. (2006). Practical PID Control, Springer Science & Business Media

Proveedores

<https://www.adafruit.com/>
<http://www.cetronic.es>
<https://www.gearbest.com>
<https://www.aliexpress.com>
<https://www.amazon.es>
<https://www.digikey.es>

Figura 1.1 - Conducción asistida, Tesla

Figura 2.1 – Autopilot

Figura 2.2 – Entrada a las autopistas ideadas por Tesla Motors

Figura 2.3 – Transporte de vehículos en las autopistas ideadas por Tesla Motors

Figura 2.4 – Space X

Figura 4.1 – ARCHER

Figura 4.2 – HUARGO

Figura 4.2.1.1 – Motor Brushless

Figura 4.2.1.2 – Diferentes estructuras de un dron

Figura 4.2.1.3 – Estructura utilizada para el dron HUARGO

Figura 4.2.1.4 – Estructura desarrollada mediante fibra de vidrio

Figura 4.2.1.5 – Placa Paralela Board

Figura 4.2.1.6 – Arduino UNO

Figura 4.2.1.7 – Módulo XBee

Figura 4.2.1.8 – Shield BLE v2, Red Bear

Figura 4.2.1.9 – Módulo Pixy CAM

Figura 4.2.1.10 – Fórmula velocidad del sonido

Figura 4.2.1.11 – Fórmula del cálculo de la distancia

Figura 4.2.1.12 – Ilustración del funcionamiento de un sensor de distancia

Figura 4.2.1.13 – Módulo Acelerometro y Giroscopio, MPU-6050

Figura 4.2.1.14 – Batería Dron, Flureon

Figura 4.2.2.1 – Servomotor

Figura 4.2.2.2 – Motor de corriente continua

Figura 4.2.2.3 – Módulo de control de motores para Arduino

Figura 4.2.2.4 – Estructura para HUARGO, coche eléctrico desarmado

Figura 4.2.2.5 – Arduino

Figura 4.2.2.6 – Módulo Bluetooth HC-06

Figura 4.2.2.7 – Sensor de distancia con ultrasonidos

Figura 4.2.2.8 – Batería de 9.6V a 2000mAh del coche eléctrico

Figura 4.3.1 – Coste material del proyecto

Figura 5.1.1 – Diagrama del sistema completo

Figura 5.1.2 – Ilustración de la ejecución de la tarea por ambos vehículos

Figura 5.1.1.1 – Diagrama de flujo del comportamiento de ARCHER

Figura 5.1.2.1 – Tabla de instrucciones de HUARGO

Figura 5.1.2.2 – Diagrama de flujo del comportamiento de HUARGO

Figura 5.3.1.1 – Funcionamiento de ejes en un dron de tipología X y cuatro motores

Figura 5.3.1.2 – Diferentes movimientos de un dron